

International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)
Peer-Reviewed Journal
ISSN: 2349-6495(P) | 2456-1908(O)
Vol-10, Issue-10; Oct, 2023
Journal Home Page Available: https://ijaers.com/
Article DOI:https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.1011.3



Characterization of hydropluviometric variability in the lower valley of the Ouémé

Caractérisation de la variabilité hydropluviométrique dans la basse vallée de l'Ouémé

AZIAN Déhalé Donatien[1], KOUMASSI D. Hervé[1,2], VISSIN Expédit W[2]

[1]Laboratoire de géographie rurale et d'Expertises Agricole /Universite d'Abomey Calavi (LAGREA/UAC)
[2]Laboratoire Pierre PAGNEY : Climats, Eau, Ecosystèmes et Développement, Université d'Abomey-Calavi 03 BP 1122 Jéricho, Cotonou 03 (Rép. Du Bénin)

Received: 15 Sep 2023,

Receive in revised form: 22 Oct 2023,

Accepted: 03 Nov 2023,

Available online: 11 Nov 2023

***Keywords*— Bovine. Food Supplementation. Pasture System.**

***Abstract*— *Over the past 30 years, West Africa has been hit by climate variability. This variability affects the activities of the poorest populations. This situation makes communities vulnerable to the effects of climate change. The aim of the present study is to characterize hydroclimatic variability in the lower Ouémé valley. To achieve this, rainfall and flow records from the Bonou station were collected over the period 1986-2016. These data, obtained from the national meteorological agency and the Direction Générale de l'Eau, were processed and filled in. Statistical protocols were used to determine the characteristic elements of hydro-climatic variability in the environment. The pettitt test was used to determine any breaks in rainfall and flow rates. Analysis of the results revealed an uneven distribution of rainfall. Three phases were identified in the evolution of rainfall. The first, 1987-1990, was marked by rainfall surpluses. The second is characterized by rainfall deficits between 1990 and 2006, and the last (2006-2016) by very unstable rainfall trends. Application of the Pettitt test to this time series revealed a break in stationarity at the 95% threshold, highlighting two sub-periods, 1987-2006 and 2007-2016. This drop in rainfall leads to a drop in surface runoff, with values ranging from 0.2% to 1% in the Ouémé valley.*

***Keywords*— Characterization, hydro-rainfall variability, lower valley, Ouémé**

***Résumé*— *L'Afrique de l'ouest est frappée ces 30 dernières années par la variabilité climatique. Cette variabilité affecte les activités des populations sur les plus pauvres. Cette situation rend les communautés vulnérables aux effets des changements climatiques. L'objectif de la présente étude est de caractériser la variabilité hydroclimatiques dans la basse vallée de l'Ouémé. Pour y parvenir, les chroniques de pluie et de débits de la station de Bonou ont été collectées sur la période 1986-2016. Ces données obtenues à l'agence de météologie nationale et à la direction Générale de l'Eau, ont été traité et comblées. Les protocoles statistiques ont été utilisé pour déterminer les éléments caractéristiques de la*

variabilité hydro climatiques dans le milieu. Le test de pettitt a été utilisé pour déterminer les éventuelles ruptures dans les hauteurs de pluie et de débit. De l'analyse des résultats, il ressort qu'il a une inégale répartition des précipitations. Trois phases ont été identifiées dans l'évolution de la pluviométrie. La première 1987-1990 est marquée par des excédents pluviométriques. La seconde est caractérisée par des déficits pluviométriques entre la période 1990-2006 et la dernière (2006-2016) caractérisée par une très forte instabilité dans l'évolution de la pluviométrie. L'application du test de Pettitt à cette série chronologique a mis en évidence une rupture de stationnarité au seuil de 95 % mettant ainsi en exergue deux sous périodes, 1987- 2006 et 2007 -2016. Cette baisse pluviométrique induit une baisse de l'écoulement superficiel dont les valeurs oscillent entre 0,2 et 1 % dans la vallée de l'Ouémé.

***Motsclés*— Caractérisation, variabilité hydro pluviométrique, basse vallée, Ouémé**

I. INTRODUCTION

Depuis plus de 30 ans, l'Afrique de l'Ouest doit faire face à un phénomène de variabilité climatique sans précédent à l'échelle historique. Les problèmes liés aux changements climatiques occupent une importante place parmi les préoccupations majeures de notre siècle (Ouedraogo, M, 2001, p. 15). En effet, cette baisse pluviométrique amorcée dans les pays du golfe de Guinée dès la fin des années 1960 s'est intensifiée au cours des années 1980 et 1990, avant de connaître une certaine rémission durant les années 2000.

En Afrique subsaharienne, les dernières décennies de la fin du deuxième millénaire ont été marquées par une évolution rapide des climats (Nicholson et al., 1998, p. 15; Ogouwalé, 2006, p. 42). Les recherches effectuées par (Olivry . C, 1983, p. 28) et (Sircoulon, 1990, p. 16), indiquent une diminution des précipitations en Afrique. Cette tendance est qualifiée de ''nouvelle phase climatique'' ou encore de ''rupture climatique'' par (Carbonnel et Hubert, 1992, p. 16). La région ouest-africaine a connu une récession pluviométrique aux ampleurs parfois très accusées, doublée d'une augmentation significative du nombre d'années sèches (Sircoulon, 1990, p. 15).

Celle-ci se manifeste, en particulier, par une modification du régime des précipitations et par une diminution des hauteurs annuelles. Cette récession pluviométrique induit des variations des dates de début, de fin et de durée des saisons pluvieuses (Noufé D. et al., 2015, p. 1). Celle-ci a des conséquences importantes sur la vie des populations. La variabilité climatique étant une contrainte pour le développement agricole, les politiques publiques de lutte sont l'ensemble des moyens et stratégies mobilisés par les pouvoirs publics pour en limiter les effets à défaut de l'éliminer. Les effets de la variabilité du climat et du changement climatique sont potentiellement plus importants pour la population pauvre des pays en voie de développement que pour celle des pays nantis. La vulnérabilité aux impacts du changement climatique est une fonction de l'exposition aux variables climatiques, de la sensibilité à ces variables et de la capacité d'adaptation de la communauté touchée. Souvent, la subsistance de la population pauvre dépend des activités économiques qui sont sensibles au climat (Brou Y. et al., 2005, p. 12). La variabilité du climat peut entraîner des bouleversements brusques tels qu'une inondation, une sécheresse ou une tempête tropicale. Ces bouleversements peuvent faire beaucoup de dommages à l'économie d'un pays si une partie importante de l'activité économique est sensible aux conditions météorologiques et au climat (USAID, 2007, p. 7). Au Bénin, la production agricole, essentiellement pluviale, reste sensible et vulnérable à la variabilité des paramètres climatiques observée ces dernières décennies. Face à ce phénomène, des solutions et des mesures d'adaptation efficaces doivent être trouvées. La mise en place des stratégies d'adaptation efficaces nécessite la connaissance préalable des caractéristiques des phénomènes climatiques. Dans cette optique que la présente recherche vise à caractériser la variabilité hydro climatique dans la basse vallée de l'Ouémé.

II. MILIEU D'ETUDE

La basse vallée de l'ouéme est une vaste zone humide constituée des fleuve Ouémé et de la plaine d'inondation de la rivière Sô. Elle couvre une superficie estimée à plus de 974 km² et est située entre 6°25'06'' et 6°62'47'' de latitude nord et entre 1°60'37'' et 2°40'46'' de longitude est (figure 1).

Le paysage est façonné par l'alternance des hautes et basses eaux, les crues et décrues du fleuve Ouémé occupant la basse vallée du fleuve Ouémé (510 km) et le delta de la rivière Sô (84,4 km). Les sédiments charriés par les crues

de l'hivernage venues depuis le nord du pays, viennent enrichir le milieu et favorisent sa productivité biologique (Colombani J. et al., 1972, p. 125).

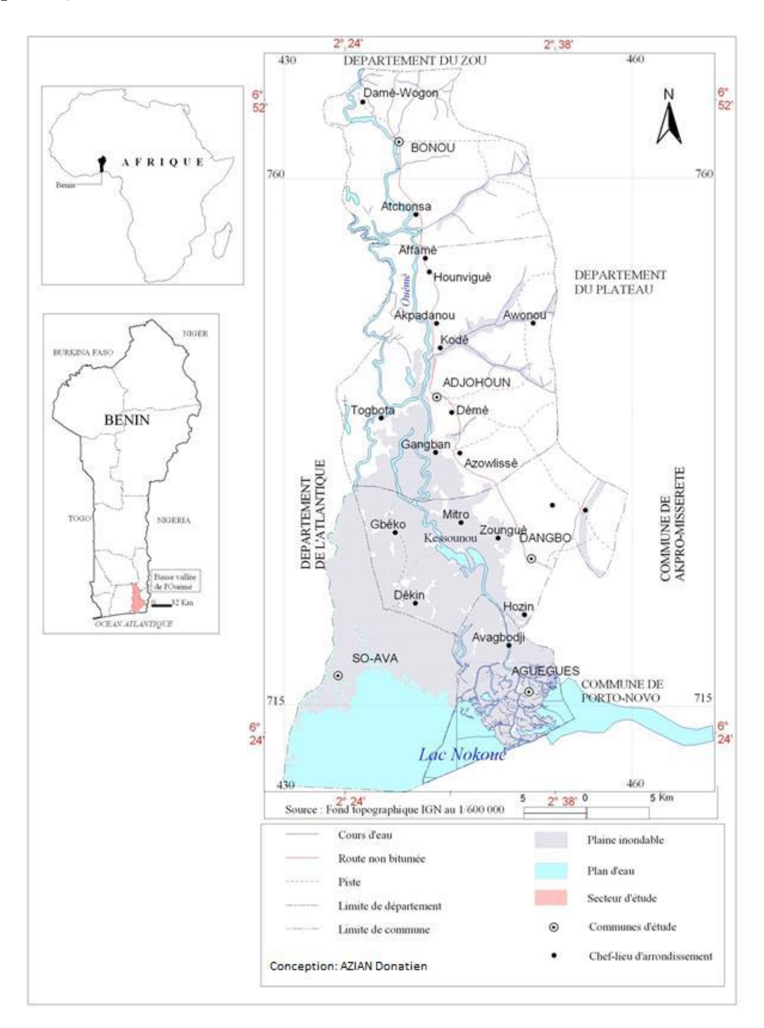


Fig.1:Situation administratif de la basse vallée de l'Ouémé

Sur le plan administratif, la basse vallée, du sud vers le nord est composée des communes de So-Ava, des Aguégués, de Dangbo, d'Adjohoun et de Bonou auxquelles il faut ajouter les rives orientales des agglomérations littorales de Zè, Zinvié et Abomey-Calavi qui totalisent une population de plus de 263 576 habitants (RGPH 3, 2002) avec des densités relativement élevées, entre 200 et 450 habitants au kilomètre carré (INSAE, 2004).

Sur le plan planimétrique, le milieu d'étude comprend une plaine alluviale large en moyenne de 20 km et étalée sur une soixantaine de kilomètres. Inscrite dans les plateaux du Sud Bénin, c'est une vaste dépression humide avec une superficie cultivable estimée à 74 930 ha (Adam, 1996) dans laquelle se sont installées de nombreuses populations.

La basse vallée de l'Ouémé est soumise à un climat de type subéquatoriale avec un régime à quatre saisons : une grande saison des pluies de mars à juin (4 mois), une petite saison sèche de juillet à août (2 mois), une petite saison des pluies commençant en septembre et s'achevant en octobre (2 mois) et une grande saison sèche du mois de novembre à février (4 mois). Il est caractérisé par des précipitations moyennes annuelles (1951-2000) variant entre 1200 mm et 1600 mm (Adam S. & Boko M., 1983, p. 13). La distribution spatiale des pluies mensuelles suit globalement un gradient décroissant Sud/ Nord d'octobre à juin. Au cours de cette période, les pluies les plus importantes sont enregistrées dans le sud de la basse vallée de l'Ouémé. À partir du mois de juillet, le gradient s'inverse (gradient croissant sud-est / nord-ouest). Les valeurs les plus fortes sont enregistrées en ce moment dans le Nord. L'analyse des valeurs moyennes fait apparaître une inégalité dans la distribution spatiale de la pluviométrie sur chacune des stations de Bonou et d'Adjohoun et entre les deux stations opérationnelles de la basse vallée de l'Ouémé.

Le système hydrographique de la basse vallée de l'Ouémé est constitué de :

- Fleuve ouémé est le principal cours d'eau du milieu d'étude ;
- la rivière Sô prend sa naissance dans la dépression de la Lama, draine la partie Sud du plateau d'Abomey ;
- la rivière Sissè d'une longueur de 7,5 Km environ, prend sa source à Sissè-Kpa, localité située à 1 Km environ du nord d'Azowlissè ;
- La rivière Tovè longue de 5 Km environ, elle prend sa source dans le village de Sôro au Nord-Est de Gouti ;
- Le lac Hounhoun est situé à 0,5 Km à l'ouest d'Adjohoun en bordure du plateau sur la rive droite de l'Ouémé. Sa superficie est de 20,5 ha environ en période de basses eaux ;
- Le lac Hondjè est situé près du village d'Aglangbin à 7 Km environ à l'ouest d'Affamè. Sa superficie est estimée à 20 ha ;
- Le Dazon est un étang localisé à l'ouest d'Azowlissé. Sa superficie est de 18 ha environ ;
- La lagune de Porto-Novo, d'une superficie de 50 Km², est située au sud du delta et constitue l'exutoire par lequel les eaux du fleuve Ouémé se jettent dans l'Océan par le chenal de Lagos.
- Cet ensemble de fleuve, lacs, lagunes et rivières lui confère cette appellation de zone humide et les terres sont inondées pendant une bonne période de l'année.

III. APPROCHE METHODOLOGIQUE

3.1 Données climatologiques

Les données climatologiques concernent les hauteurs de pluie, les températures minimales et maximales, l'humidité relative, l'insolation et la vitesse du vent. Ces données, fournies par la Direction de la Météorologie Nationale sont celles collectées au pas de temps mensuel sur la période 1986-2016.

Les données hydrologiques utilisées dans le cadre de cette recherche sont les débits mensuels au niveau de la station de Bonou. Elles ont permis de mettre en évidence le fonctionnement hydrologique du milieu d'étude.

Les chroniques hydrologiques de 1986 à 2016 ont été tirées de la base de données de la Direction Générale de l'Eau. Les stations qui ont des données très lacunaires (> 5 %) n'ont pas été prise en compte lors des traitements. Seules les stations, dont les données lacunaires sont < 5 %, ont été utilisées sans comblement. Cette même approche a été utilisée par Koudamiloro (2017).

3.2 Etude du bilan climatique

Le bilan climatique traduit le rythme des excédents ou des déficits en eau. Il exprime la différence entre la somme des abats pluviométriques et celle de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et constitue, lorsqu'il est positif, le surplus disponible pour la recharge en eau du sol et pour l'écoulement (Sutcliffe et Piper, 1985 ; Vissin, 2007). Il permet également de mettre en évidence l'évolution du climat à travers les apports pluvieux et les pertes par évaporation et s'exprime par la formule suivante :

$Bc = P – ETP$,

Avec : Bc, bilan climatique en mm ; P, pluie totale annuelle en mm et ETP, évapotranspiration potentielle en mm.

L'ETP est définie comme la demande climatique en vapeur d'eau.

- Si P - ETP > 0, alors le bilan est excédentaire ;

- Si P - ETP < 0, alors le bilan est déficitaire ;

- Si P - ETP = 0, alors le bilan est équilibré.

Quand P<1/2ETP, il s'agit de la saison sèche, mais quand P>1/2ETP : c'est la saison pluvieuse.

Cette méthode a t été utilisé dans la réalisation de certaines études notamment au niveau régional sur les ressources hydroélectriques en l'Afrique de l'Ouest (Le Barbe *et al.,* 1993) ; en Guinée pour l'étude de la du bilan hydrologique, de même au Togo-Bénin (Sucliffe et Piper, 1985) et particulièrement au Bénin (Vissin, 2007 ; Koumassi, 2014).

3.3 Etude de la variabilité pluviométrique et hydrologique

3.3.1 Paramètre de tendance centrale, la moyenne arithmétique

La moyenne arithmétique est employée pour étudier les régimes pluviométrique et hydrologique aux différentes stations et dans les sous bassins hydrologiques. Elle est le paramètre fondamental de tendance centrale. Nous avons utilisé en « normale », la moyenne calculée sur une série de trente ans. Elle s'exprime de la façon suivante :

$$\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} xi$$

La moyenne $\overline{X}$ nous a permis de caractériser l'état hydro climatique moyen et de mettre au point quelques indices de dispersion.

3.3.2 Paramètres de dispersion

Ils sont calculés à partir de la moyenne.

Le calcul de **l'écart type** permet d'évaluer la dispersion des valeurs autour de la moyenne « normale ». Il se détermine par le calcul de la racine carré de la variance :

$\sigma(x) = \sqrt{V}$ où V est la variance

L'écart type est l'indicateur de la variabilité par excellence.

A partir du calcul de l'écart type, l'étude des **anomalies centrées réduites** pluviométriques et hydrométriques mensuelles et interannuelles a été entreprise en standardisant les données. Les anomalies sur chaque station et sur les différents bassins se calculent par la formule suivante : $X'_i = \frac{X_i - \overline{X}}{\sigma(x)}$ où : X'_i = anomalie centrée réduite pour l'année i

x_i = la valeur de la variable,

$\overline{X}$ = la moyenne de la série.

$\sigma(x)$ = l'écart type de la série

3.3.3 Coefficient de variation

Exprimé en pourcentage, **le coefficient de variation** permet d'apprécier le degré de variabilité de la pluviosité et de l'hydrométrie journalière, mensuelle et annuelle. Ce coefficient est le plus satisfaisant des mesures de dispersion dans l'étude comparée de la variabilité des précipitations et des lames écoulées journalières, saisonnières et annuelles entre les sous bassins. C'est le rapport de l'écart type à la moyenne qui s'écrit comme suit :

$cv = \frac{\sigma(x)}{\overline{X}} \times 100$ ou : $\overline{X}$ = la moyenne de la série.

$\sigma(x)$ = l'écart type de la série

Toutefois, les paramètres de dispersion ne suffisent pas à eux seuls pour mesurer la variabilité proprement dite, car ils ne décrivent pas l'évolution temporelle des séries pluviométrique et hydrométrique.

Les précipitations constituent l'élément climatique le plus important dans la région sahélienne en ce qui concerne non seulement la survie des animaux et des végétaux, mais également celle des hommes

3.4 Moyennes mobiles et la régression

3.4.1 Moyennes mobiles

Quand une chronique est très complexe (« bruit » important, cycle irrégulier, plusieurs tendances successives), on peut la simplifier pour faire une représentation graphique des phénomènes essentiels qui la composent.

La technique des moyennes mobiles consiste à lisser les irrégularités en associant aux valeurs d'une chronique de nouvelles valeurs qui sont les moyennes arithmétiques d'une valeur originale et des valeurs qui l'encadrent. Les moyennes mobiles peuvent être calculées sur trois (3) ans ou cinq (5) ans.

Cette méthode a permis d'avoir des séries hydrométriques et pluviométriques lissées sur les différentes stations et les sous bassins hydrologiques au pas de temps journalier, mensuel et annuel.

3.4.2 Régression linéaire simple

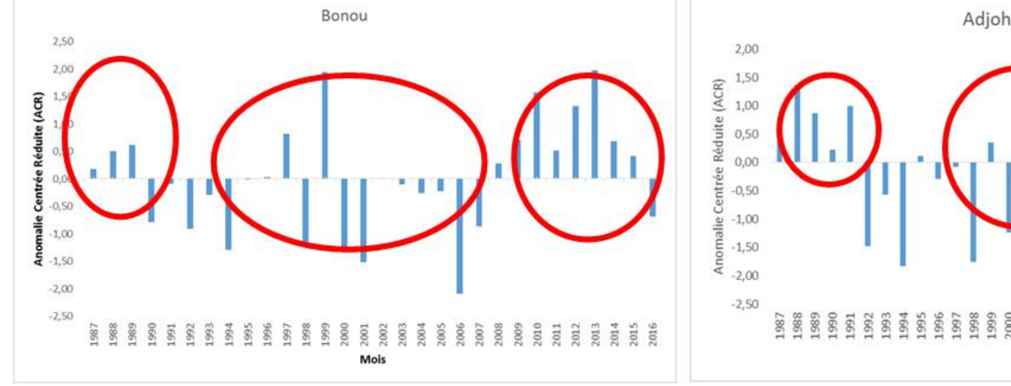
Elle montre l'évolution linéaire sur le long terme. Elle permet de détecter les tendances dans les séries hydro-pluviométriques.

Une « rupture » de stationnarité est recherchée. Elle peut être définie par un changement dans la loi de probabilité d'une série chronologique à un instant donné (LUBES et *al*., 1994).

IV. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 Variabilité interannuelle des précipitations dans la basse vallée

L'étude de la physionomie du climat dans la basse vallée a été effectuée en fonction des modifications notées sur la période considérée notamment celle qui couvre la période allant de 1987 à 2016 pour mieux mettre en évidence la variabilité climatique dans la vallée (Figure 2).



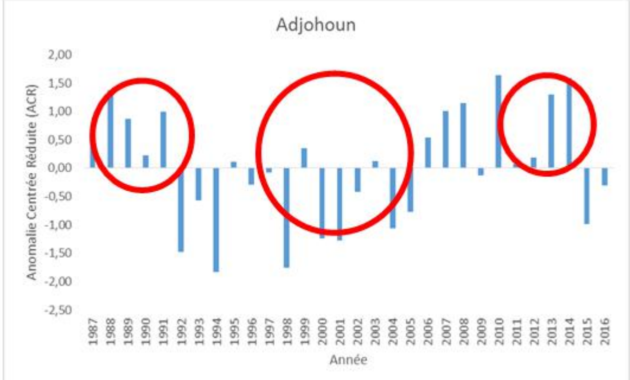
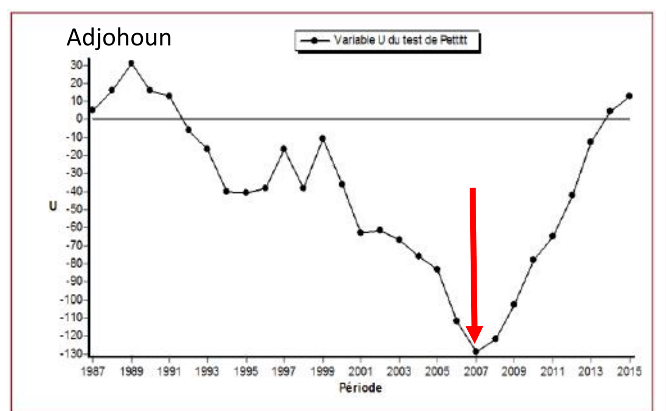


Fig.2: Variabilité interannuelle des pluies dans la basse vallée (1987 -2016)

L'analyse de cette figure 2 a permis d'identifier trois phases dans l'évolution de la pluviométrie dans la basse vallée de l'Ouémé. La première phase est marquée par des excédents pluviométriques, et concerne la période 1987-1990 ; la deuxième sous-série est caractérisée par des déficits pluviométriques entre la période 1990-2006. La troisième phase est caractérisée par une très forte instabilité dans l'évolution de la pluviométrie et concerne la période 2006-2016.

Dans la série chronologique des précipitations enregistrées à divers niveaux de la basse vallée, l'évolution des pluies n'est pas uniforme. Pour ressortir d'éventuelle rupture de stationnarité, le test de Pettitt a été appliqué. La figure 3 présente les résultats dudit test réalisés dans le milieu d'étude.



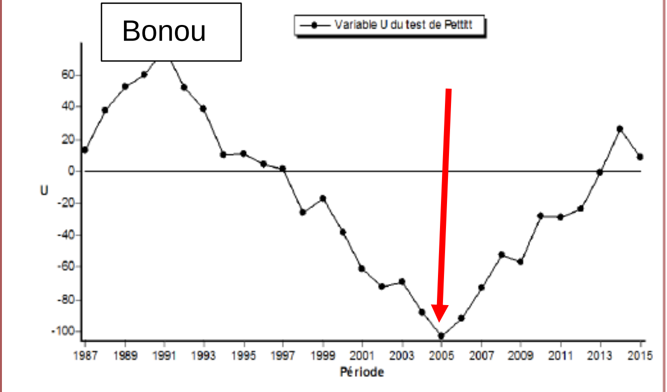


Fig3:Rupture de stationnarité dans l'évolution de la série pluviométrique dans la basse vallée de l'Ouémé

Il ressort qu'au seuil de significativité de 95 %, une rupture est observée pendant les années ''2000''. En 2007 pour la Station de Bonou et en 2005 pour la station de Adjohoun

En effet, à partir des 2005 jusqu'en 2016, une relative régularité est observée dans le sens d'évolution des valeurs pour l'ensemble des stations. De même avant 2005, on note une tendance dans l'évolution des données de la série.

La présence de rupture de stationnarité dans la série pluviométrique signifie qu'il y a variation du niveau des précipitations dans le temps dans le bassin et que cette variation est très significative au seuil de 95 %.

Par ailleurs, la tendance en hausse des hauteurs de pluie dans les stations de Bonou et de Adjohoun à partir de 2000 montre les dernières décennies dans la basse vallée de l'Ouémé est humide. Avant cette période, on remarque une baisse des précipitations depuis les années 1987.

4.2 Variabilité saisonnière comparée des précipitations par sous périodes

L'étude comparée des 2 sous-périodes identifiés à partir du test de Pettitt permet de mettre en évidence la baisse marquée des hauteurs de pluie saisonnières au niveau des sous-périodes (1987-2006 et 2007-2016). La seconde sous période a été relativement plus humide que la première période 1987-2006. La figure 4 en est une illustration.

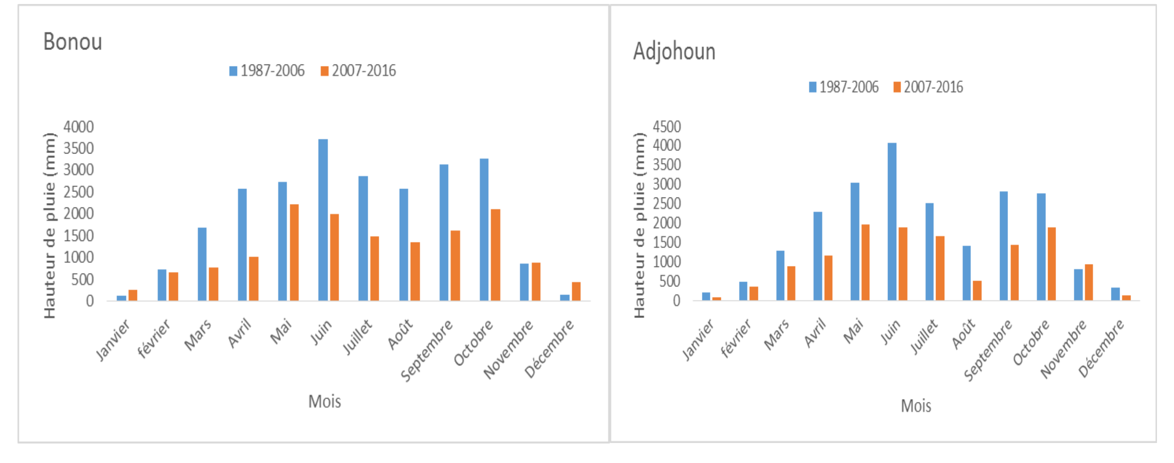


Fig.4: Régime pluviométrique des sous périodes 1987-2016 dans la basse vallée de l'Ouémé

Le cumul des précipitations reste plus important sur la période allant de 1987 à 2006 et celle allant de 2007 à 2016. La première période est donc plus arrosée que la seconde, même sur les stations de Bonou et Adjohoun ou la tendance des hauteurs de pluie sont à la hausse. Le mois le plus arrosé est le mois de juin. On remarque que la station de Bonou, les hauteurs de pluie des mois de janvier et décembre de la seconde période dépasse celle de la première période. Ceci est peut-être un signe du bouleversement de la variabilité pluviométrique dans la basse vallée de l'Ouémé.

La détermination du bilan climatique permet de déterminer les mois humides des mois secs dans la basse vallée de l'Ouémé. La figure 5 met en exergue les mois les plus humides de l'année.

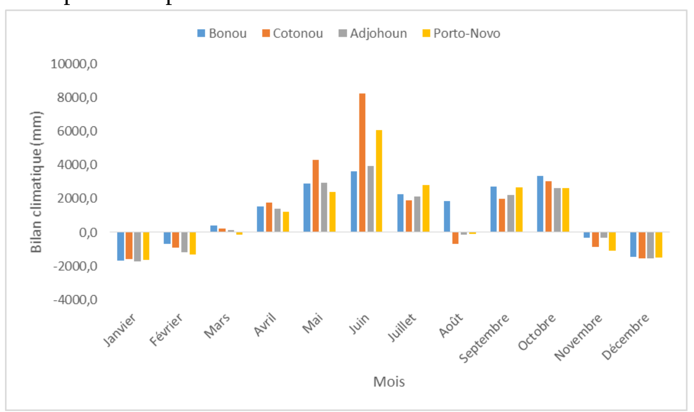


Fig.5: Bilan climatique mensuel dans la basse vallée de l'Ouémé

Le bilan climatique dans la basse vallée permet d'identifier deux périodes opposées :

- sept mois humides s'observent d'abord de mars à juillet et de septembre à octobre, avec un maximum en juin.

Les rivières pendant ces mois, sont alimentées en surplus d'eau et favorisent l'alimentation des réservoirs souterrains des sous bassins versants. Cette période est aussi favorable à l'inondation causée par les fortes pluies enregistrées en juin (Vissin, 2007 et Attigli *et al.*, 2017).

- entre octobre et février, ce sont les mois secs où la demande évaporatoire de l'atmosphère est très importante, avec un fort amenuisement et même l'assèchement des réserves d'eau du sol.

Le poids des hauteurs de pluie est de 85 % pour la première période et de 84 % pour la seconde période. La seconde période est donc relativement moins humide que la première. Cette situation pourrait s'expliquer d'un côté par le fait que la première période est plus longue que la deuxième, d'un autre côté par le fait que les décennies 1970 et 1980 ont été beaucoup plus déficitaires par rapport à celles de 1990 et 2000 marquées par une relative reprise pluviométrique. Néanmoins il faut remarquer que le déficit entre les deux sous-périodes n'est que de -1.25 %.

L'application du coefficient de variation aux deux séries (sous périodes) met en exergue l'hétérogénéité des données de la sous période 1987-2006 avec 70,69 % pour la première période et 73, 55 % pour la seconde période. Ces deux coefficients de variations étant supérieurs à 15 % on peut déduire que les données de cette série sont hétérogènes. Le tableau XIII montre l'écart et le déficit des mois les plus humides entre les sous-périodes.

Tableau I : Déficits entre les sous-périodes 1987-2006 et 2007-2016 des mois les plus humides dans la basse vallée de du fleuve Ouémé

	Ecart (1987-2006 et 2007-2016)				**Déficit % (1987-2006 et 2007-2016)**			
	Bonou	Cotonou	Adjohoun	Porto-Novo	Bonou	Cotonou	Adjohoun	Porto-Novo
M	-921,9	-646,3	-386,7	-678,35	-54,5	-44,3	-29,9	-51,9
A	-1556,05	-1711,5	-1130,5	-1110,25	-60,3	-61,7	-49,2	-50,7
M	-509,725	-1885,6	-1083	-1736,15	-18,7	-45,8	-35,5	-55,9
J	-1698,45	-2354,4	-2183,3		-45,9	-37,2	-53,5	
J	-1373,5	-1085,8	-859,5	-1050,3	-48,1	-42,9	-34,1	-35,4
A	-1224,9				-47,5			

S	-1517,2	-1506,6	-1374,5	-1800,25	-48,4	-54,4	-48,7	-55,1
O	-1154,7	-1496,1	-892,9	-695,95	-35,3	-45,5	-32,1	-25,8
	Total				**-44,62**			

Les sept mois les plus pluvieux jouent un rôle important dans la péjoration pluviométrique dans la basse vallée. Dans l'ensemble, le déficit des mois les plus humides varie de -44,62 %. Les déficits les plus important sont enregistrés pendant les mois d'avril à Bonou (-60,3 %) et à Cotonou (-61,7 %), et dans les mois de juin à Adjohoun (-53,5 %) et en mars à Porto-Novo (-55,9 %). La comparaison des moyennes par sous périodes des mois les plus humides révèle que la sous période 1987-2006 a été beaucoup plus humides (341,7 mm) que celle de 2007-2016 (337,5 mm) soit un écart de -4,3 mm. Les déficits pluviométriques observés entre 1987 et 2016, ne sont pas sans conséquences sur le fonctionnement hydrologique de la basse vallée du fleuve Ouémé.

4.3 Caractéristiques du bilan hydrique mensuel

L'analyse et la caractérisation des bilans hydriques montrent que le début et la fin des saisons humides. La figure 6 montre l'évolution du bilan hydrique potentiel, dans le milieu d'étude.

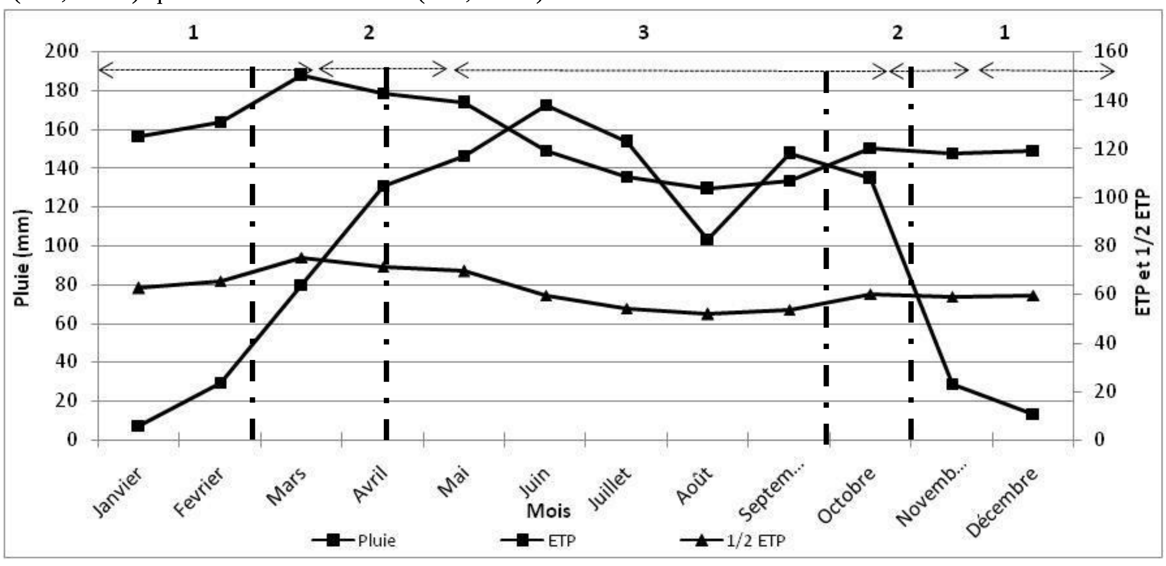


Fig.6: Diagramme climatique de Franquin (1969) à Cotonou (1987-2016)

***Source des données** : ASECNA (2018)*

Il ressort que 3 mois sont véritablement humides dans le milieu d'étude. Il s'agit des mois de juin, juillet et septembre. Il faut remarque que la période humide couvre les mois de mars à octobre. C'est la période de grande saison pluvieuse. Toutefois, le mois d'août marque une rupture relative, qui peut être considéré comme une petite saison sèche mais étant dans une zone de transition. A la petite saison sèche succède le second pic pluviométrique de l'année (petite saison), d'où le régime bimodal. On parle de petite saison de pluie qui va de septembre à octobre.

En revanche, de novembre à mars, il s'agit de la grande saison sèche. Toute la période se trouve alors sous l'influence du flux d'harmattan sec et chaud en phase diurne. L'approche du bilan hydrique montre l'existence d'une période de déficit hydrique. Le bilan hydrique potentiel est négatif en moyenne pendant la saison sèche.

4.4 Evolution des débits dans la basse vallée du fleuve Ouémé

L'analyse de la répartition mensuelle des débits enregistrés a permis de caractériser le régime hydrologique moyen (Figure 7).

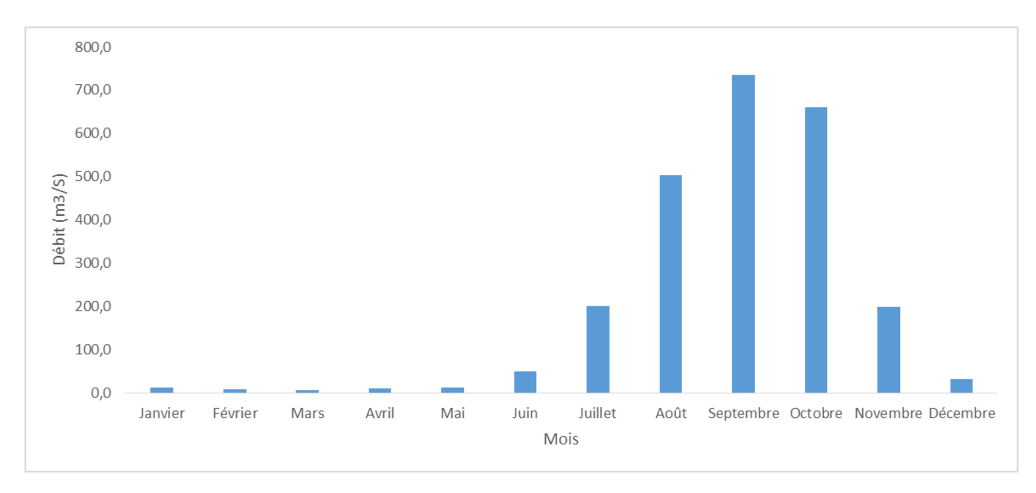


Fig.7: Evolution des débits annuels sur la période 1987-2016

De l'analyse de figure 18, il ressort que le débit du fleuve atteint son niveau maximal dans le mois de septembre. Ce sont les mois d'août, septembre et octobre qui enregistrent beaucoup plus d'écoulement. Les hautes eaux durent trois mois (août, septembre et octobre) qui, à eux seuls, représentent 80 à 90 % de l'écoulement annuel. Cette période est caractérisée par le débordement des cours d'eau qui inondent les champs et mêmes les habitations et perturbent les activités économiques des populations. La décrue est amorcée en novembre et atteint son niveau critique en janvier. Par ailleurs, les plus faibles débits sont enregistrés durant la période sèche de chaque année (décembre à avril, voire mai).

4.5 Variation interannuelle des débits dans la basse vallée de l'Ouémé

La figure 8 présente l'évolution interannuelle des débits moyens annuels dans la basse vallée sur la période 1987-2016.

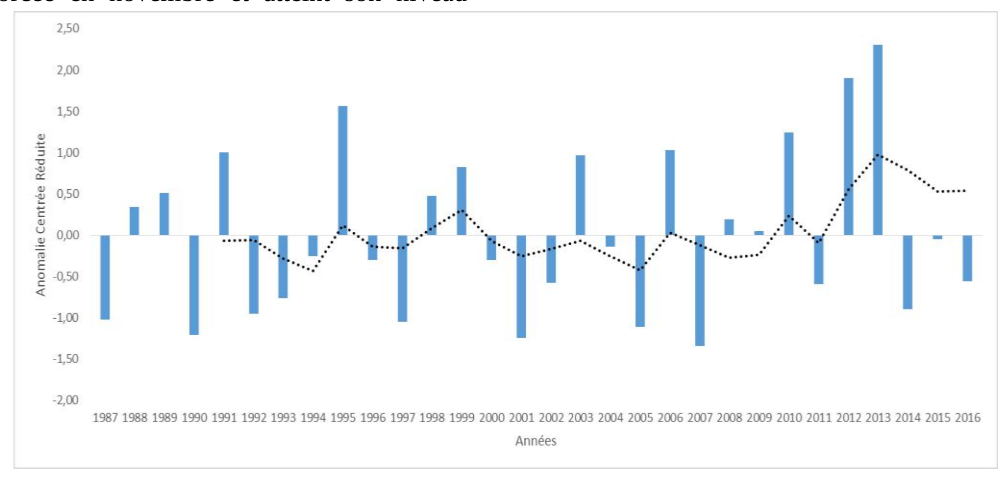


Fig.8: Variabilité interannuelle des débits annuels dans la basse vallée de l'Ouémé

L'analyse des indices hydrométriques annuels permet de dire que comme pour les séries pluviométriques annuelles, une variation importante des débits moyens annuels est observée à partir des années 2000. La variation dans les séries chronologiques des débits est généralement concomitante à celle de la pluviométrie.

Une comparaison des débits annuels et des précipitations annuelles confirme pleinement la règle qui stipule que la distribution des débits s'ordonne suivant les mêmes lois statistiques que les distributions des précipitations dans un bassin versant correspondant (Dekkiche, 1993, p. 25). Le phénomène est concomitant avec celui observé en pluviométrie. La baisse du débit est confirmée par le test de Pettitt qui détecte une rupture à une année près soit 2007 dans les séries chronologiques de débit.

Ainsi le test de Pettitt appliqué aux séries hydrométriques a permis de détecter des ruptures de stationnarité des débits au début de la décennie 2007 significatives à 95 % (figure 9).

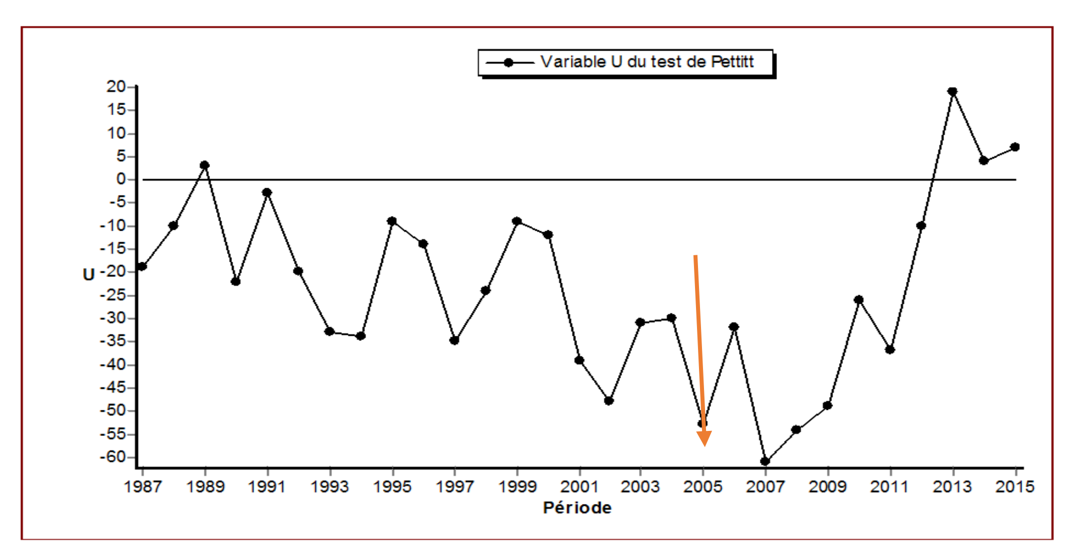


Fig.9: Rupture de stationnalité dans les débits annuels

Dans la même logique que sous période avec les hauteurs de pluie, l'=e débits dans la basse vallée est plus élevé dans la premier sous-période (1987-2007) que dans la deuxième sous-période (2008-2016). L'étude de la variabilité de l'écoulement dans la basse vallée permettrait de mieux déterminer la disponibilité de l'eau dans le milieu.

4.6 Evolution de l'écoulement de surface dans la basse vallée

La figure 10 présente l'évolution interannuelle des débits moyens annuels (valeurs centrées réduites) dans la basse vallée.

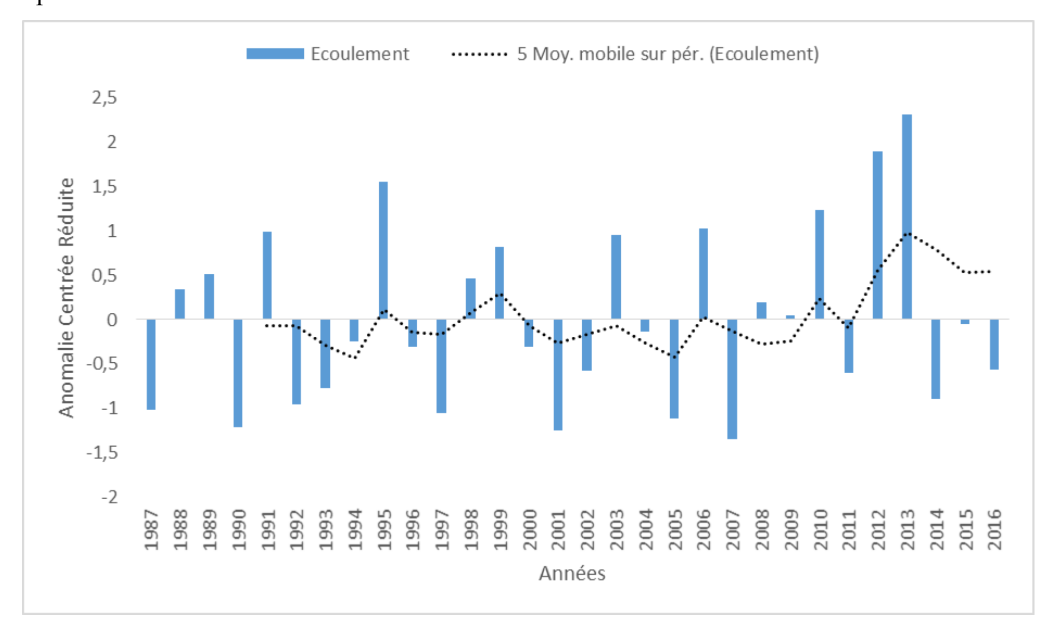


Fig.10:Variation interannuelle de l'écoulement dans la basse vallée de l'Ouémé

De l'analyse de la figure 10, il ressort que la période les écoulements les plus élevés ont été obtenus est de 2000 à 2016. Dans cette période, ce sont les années 2010, 2012 et 2013 qui ont les écoulements les plus élevé. Ces années correspondent aux années ayant enregistrés les plus fortes pluies. Des années de grands déficits d'écoulement enregistrés dans la basse vallée sont 1987, 1990, 1997, 2001, 2007. De façon global la période 2007-2016 est excédentaire et la période 1987-2006 est par contre déficitaire. La tendance à la hausse du coefficient d'écoulement dans le bassin amène à se demander si ce phénomène résulterait d'une augmentation des surfaces imperméables sous l'effet d'une pression anthropique élevée.

En effet, l'évolution des unités d'occupation du sol n'est pas sans conséquence sur la variation du coefficient

d'écoulement. Dans la basse vallée, il existe une mosaïque d'unité d'occupation du sol allant des savanes arbustives aux forêts galeries en passant par des plantations, des cultures, des jachères voire des agglomérations. Le tableau II, traduit l'écart entre les débits des deux sous périodes 1987-2006 et 2007-2016.

Tableau II: Déficit des débits écoulés entre les sous-périodes

	Débits (m3/S)	
Sous-période	**1987 - 2006**	**2007- 2016**
Moyenne	193,2	220,6
Ecart	24,7	

Dans l'ensemble, on observe un acrat conséquent des débuts entre la première période et à la deuxième. Cela se justifie d'un côté par la tendance à la hausse des hauteurs de pluie dans la basse vallée mais aussi en amont de la basse vallée. Partant de ces observations on pourrait conclure que les déficits pluviométriques observés au cours de la sous-période 1987-2006 ont impacté plus légèrement les écoulements dans la basse vallée.

Dans le but de connaître ce que deviennent l'eau précipitée et l'écoulement dans les sous-bassins, l'étude hydrologique a été faite.

4.7 Bilan hydrologique dans la basse vallée de l'Ouémé

La figure 11, présente la variabilité interannuelle des termes du bilan hydrologique dans la basse vallée du fleuve Ouémé.

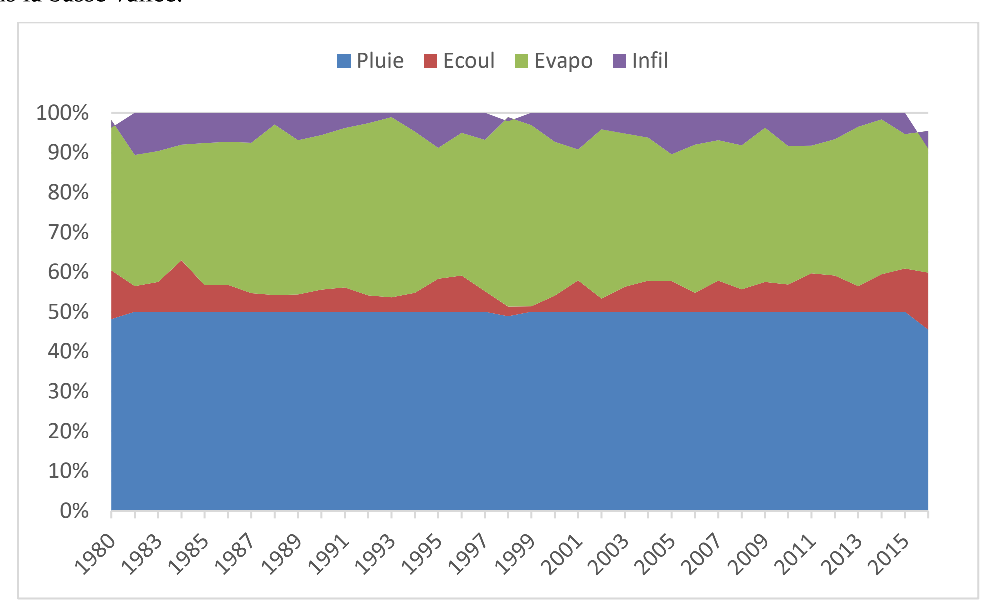


Fig.11 : Bilan hydrologique

Il ressort que les termes du bilan hydrologique représentés dans cette partie par les précipitations, l'écoulement et l'infiltration ont une évolution relativement identique. On note que pour une hauteur de pluie de 100 % reçue dans la basse vallée, on relève 10 % à 47 % pour l'évaporation, 20 % à 53 % pour la recharge et l'écoulement oscille entre 0,6 et 1 %.

Il y a donc d'énormes pertes par évaporation évaluées à presque 85 % des précipitations. Sur la période d'étude, l'écoulement a connu un faible écoulement. Cela est dû à la constitution pédologique de la basse vallée mais aussi à l'évapotranspiration qui est plus ou moins forte. Le tableau III montre l'évolution comparée des termes du bilan hydrologique en mm dans la basse vallée de l'Ouémé.

Tableau III: Evolution comparée des fluctuations pluviométriques et des autres termes du bilan hydrologique en mm dans la basse vallée de l'Ouémé

Périodes	**Pluie**
1987 - 2016	1171
1987 -2006	1106
2007 - 2016	1300
Ecart	194
Déficit	18
Périodes	**Evaporation**
1987 - 2016	1360,1
1987 -2006	929,0
2007 - 2016	431,1
Ecart	-929,0
Déficit	-100
Périodes	**Ecoulement**
1987 - 2016	17,9
1987 -2006	11,4
2007 - 2016	6,5
Ecart	-4,9
Déficit	-42,9
Périodes	**Recharge**
1987 - 2016	1549,7
1987 -2006	903,7
2007 - 2016	646,0
Ecart	-903,7
Déficit	-100

Source : traitement des données

Un déficit pluviométrique a été observé entre les deux sous période. Ce qui signifie que la deuxième période est plus arrosée que la première et par ricochet une tendance à la hausse des hauteurs de pluie dans la basse vallée de l'Ouémé.

Le déficit d'écoulement entre les deux périodes est relativement important -42 %. Malgré la hausse de la pluviométrie entre les deux périodes, la recharge du milieu montre un déficit de 88 % entre les deux périodes. De façon générale, cela suppose que le pouvoir évaporatoire du milieu est très élevé d'autant plus que l'écoulement est très faible à cause de la configuration du sol et de la géomorphologie du milieu.

V. DISCUSSION

L'étude des tendances pluviométriques a permis d'identifier trois phases dans l'évolution de la pluviométrie dans la basse vallée de l'Ouémé. La première phase est marquée par des excédents pluviométriques, et concerne la période 1987-1990 ; la deuxième sous-série est caractérisée par des déficits pluviométriques entre la période 1990-2006. La troisième phase est caractérisée par une très forte instabilité dans l'évolution de la pluviométrie et concerne la période 2006- 2016. Les résultats similaires avaient été déjà trouvés par Koumassi et al (2012) dans le bassin versant de Mono à l'exutoire de Athiemé où les auteurs ont estimé que trois phases ont été identifié dans l'évolution de la pluviométrie dans la basse vallée du Mono. La première phase concerne la période 1965-1970. Elle est marquée par des excédents

généralisés dans tout le Bénin. La deuxième période de 1971- 1990, est caractérisée par des déficits pluviométriques. La troisième phase de 1991- 2009 ; est caractérisée par une très forte instabilité dans l'évolution de la pluviométrie. De même dans la sous-région, cette variabilité a été observée dans la plupart des travaux sur le régime des précipitations de la sous-région de l'Afrique de l'Ouest (Mahé & Olivry J.C., 1995, p. 25, 1995; Olivry J.C, 1983, p. 12; Servat E.et al., 1999, p. 19) et particulièrement au Bénin (Houndénou, 1992, p. 40), (Vissin, E. 2007, p. 85),(Amoussou, 2010, p. 36),(Koumassi H., 2014, p. 33) et (Assaba M., 2014, p. 84).Quant au période de rupture trouvée en 2007, En effet, à partir des 2005 jusqu'en 2016, une relative régularité est observée dans le sens d'évolution des valeurs pour l'ensemble des stations. De même avant 2005, on note une tendance dans l'évolution des données de la série.

Cette tendance est similaire à celle observée par Amoussou E. (2010) dans le bassin-versant du Mono-Ahémé-Couffo au sud Bénin. A ce niveau, l'auteur a montré que la baisse des précipitations depuis les années 1970 s'est poursuivie en s'amplifiant au début de la décennie 1980, avec des sécheresses sensibles, surtout de 1982 à 1987. Cette fréquence des anomalies négatives entre 1987 et 2000 traduit un début de péjoration climatique.

Le cumul de pluie autour de la période de rupture montre que la première période est plus arrosée que la seconde. Le mois le plus arrosé est le mois de juin. On remarque que la station de Bonou, les hauteurs de pluie des mois de janvier et décembre de la seconde période dépasse celle de la première période. Ces résultats ont été obtenus par d'autres auteurs tel que KODJA J (2011) qui estime que la sous-période 1951-1970, il y a une diminution des pluies de tous les mois de la sous-période 1971-2003 à l'exception des mois de juillet et août. Cette baisse de la pluie mensuelle varie de septembre à juin avec les plus fortes baisses enregistrées en mars et juin. Ainsi, des deux sous-périodes, la baisse de la pluie est de 10,64%, ce qui témoigne que la sous-période 1951-1970 est plus humide que la sous-période 1971-2003. Les mois les plus secs sont décembre, janvier, février, mars.

On retient que la sous-période 1951 à 1970 est la période de la hausse pluviométrique avec un optimum de 192,72 mm en juin tandis que la sous-période 1971 à 2003 correspond à la récession pluviométrique avec comme maximum 160,3 mm en juillet.

Les variations hydrologiques se caractérisent par le débit dont le maxi est atteint dans le mois de septembre. Ce sont les mois d'août, septembre et octobre qui enregistrent beaucoup plus d'écoulement. Les hautes eaux durent trois mois (août, septembre et octobre) qui, à eux seuls, représentent 80 à 90 % de l'écoulement annuel. Une comparaison des débits annuels et des précipitations annuelles confirme pleinement la règle qui stipule que la distribution des débits s'ordonne suivant les mêmes lois statistiques que les distributions des précipitations dans un bassin versant correspondant. Ces résultats corroborent ceux obtenues par (Kodja,J. 2018, p. 137).

VI. CONCLUSION

La basse vallée de l'Ouémé à l'instar de toute sous-région ouest africaine est marquée depuis ces cinquante dernières années par une instabilité des paramètres climatiques sans précédente. Cette instabilité fut marquée par les épisodes de sécheresse qui a caractérisé les décennies 60 70. Les conséquences se sont répercutées sur les autres termes du bilan climatiques notamment une augmentation de l'évaporation et une diminution de la recharge. Cette situation est aggravée par les modes de mise en valeur des terres. De même, ces dernières décennies sont marquées par une récurrence des phénomènes extrêmes. Il est primordial pour mieux cerner les conséquences des changements climatiques, d'analyser l'occurrence des risques hydro climatiques dans la basse vallée.

REFERENCES

[1] Adam, K. S., & Boko, M. (1983). Le Bénin. *(No Title)*. https://cir.nii.ac.jp/crid/1130000794475600896

[2] Amoussou, E. (2010). *Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'ouest)* [PhD Thesis, Université de Bourgogne]. https://theses.hal.science/tel-00493898/

[3] Assaba, M. H. (2014). *Impacts des péjorations pluviométriques et de la dynamique de l'occupation du sol sur les ressources en eau dans le bassin versant du fleuve Ouémé à l'exutoire de Savè* [PhD Thesis]. Thèse de doctorat de 3 cycle, Université d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi, Bénin.

[4] Brou, Y. T., Akindès, F., & Bigot, S. (2005). La variabilité climatique en Côte d'Ivoire : Entre perceptions sociales et réponses agricoles. *Cahiers Agricultures*, *14*(6), Article 6. https://revues.cirad.fr/index.php/cahiers-agricultures/article/view/30548

[5] Carbonnel, J. P., & Hubert, P. (1992). Pluviométrie en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne. Remise en cause de la stationnarité des séries. *L'aridité, une contrainte au développement, ORSTOM*, 37-51. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-10/37348.pdf

[6] Colombani, J., Sircoulon, J., Monod, F., & Rodier, J. (1972). Monographie du delta de l'Ouémé (tome 1). *Rapport ORSTOM, Hydrol., France, Bondy, 200p.(Ronéo)*.

[7] Dekkiche, A. (1993). Etude statistique multidimensionnelle du régime pluviométrique et des crues, application au bassin versant de la Tafna. *ANRH, juin*.

[8] Houndénou, C. (1992). Variabilité pluviométrique et conséquences socio-économiques dans les plateaux du bas-Bénin (Afrique de l'Ouest). *Mémoire de DEA" Climats et contraintes climatiques". URA*, *909*.

[9] Kodja, D. J. (2018). *Indicateurs des évènements hydroclimatiques extrêmes dans le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou en Afrique de l'Ouest* [PhD Thesis, Université Montpellier; Université d'Abomey-Calavi (Bénin)]. https://theses.hal.science/tel-01869842/

[10] Koumassi, H. (2014). *Risques hydroclimatiques et vulnérabilités des écosystèmes dans le bassin versant de la Sota à l'exutoire de Coubéri* [PhD Thesis, Université d'Abomey Calavi]. https://hal.science/tel-01572602/

[11] Mahé, G., & Olivry, J.-C. (1995). Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et Centrale de 1951 à 1989. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, *6*(1), 109-117. https://www.jle.com/fr/revues/sec/e-docs/variations_des_precipitations_et_des_ecoulements_en_afrique_de_louest_et_centrale_de_1951_a_1989_270910/article.phtml?cle_doc=0004223E

[12] Nicholson, S. E., Tucker, C. J., & Ba, M. B. (1998). Desertification, drought, and surface vegetation : An example from the West African Sahel. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *79*(5), 815-830. https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/79/5/1520-0477_1998_079_0815_ddasva_2_0_co_2.xml

[13] Noufé, D., Lidon, B., Mahé, G., Servat, É., & Chaléard, J.-L. (2015). Impact de l'évolution des conditions agroclimatologiques sur les systèmes de culture à base de banane plantain : Le cas de l'Est ivoirien. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, *Volume 15 Numéro 1*, Article Volume 15 Numéro 1. https://doi.org/10.4000/vertigo.16142

[14] Ogouwalé, E. (2006). Changements climatiques dans le Bénin méridional et central : Indicateurs, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire. *Cotonou, Thèse de Doctorat, LECREDE/FLASH/EDP/UAC*, 302.

[15] Olivry, J.-C. (1983). Le point en 1982 sur l'évolution de la sécheresse en Sénégambie et aux îles du Cap-Vert. Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). Statement on the drought evolution in Senegambia and Cape-Verde Islands, in 1982. Examination of some long time series (discharges and rainfall). *Les cahiers de l'ORSTOM. Série Hydrologie Bondy*, *20*(1), 47-69. https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=12364800

[16] OUEDRAOGO, Mahaman. (2001). *Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante : Normes hydrologiques et modélisation régionale.*

[17] Servat, É., Paturel, J.-E., Lubès-Niel, H., Kouamé, B., Masson, J.-M., Travaglio, M., & Marieu, B. (1999). De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne. *Revue des sciences de l'eau*, *12*(2), 363-387. https://www.erudit.org/en/journals/rseau/1900-v1-n1-rseau3296/705356ar/abstract/

[18] Sircoulon, J. (1990). Impact des changements climatiques sur les ressources en eau de surface en Afrique de l'Ouest et Centrale—Expérience de l'ORSTOM. *The State-of-the Art of Hydrology and Hydrogeology in the Arid and Semi-Arid Areas of Africa, UNESCO*, 964-975. https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:39709

[19] USAID. (2007). *Adaptation à la variabilité et au changement climatiques* (p. 36). https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNADM556.pdf

[20] Vissin, E. W. (2007). *Impact de la variabilité et de la dynamique des états de surface du bassin versant du fleuve Niger* [PhD Thesis]. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, CRC, Dijon, p310.